

工程施工优秀科技论文集

四川省铁道学会 编
铁道部第二工程局

1997

西南交通大学出版社

工程施工优秀科技论文集

四川省铁道学会
铁道部第二工程局 编

1997

西南交通大学出版社

下列最后之日期本书必须归还

[illegible]

四川省铁道学会
铁道部第二工程局

责任编辑 林 贞

*

(成都 二环路北一段 610031)

成都飞机工业公司印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:25.6875

字数:631 千字 印数:1—1500 册

1998年2月第1版 1998年2月第1次印刷

ISBN 7-81057-161-3/Z · 075

定价: 37.00 元



《工程施工优秀科技论文集》

编辑委员会

主任委员 郑宝迪

副主任委员 王守仁 钱纪民

委 员 彭经枢 陈 恒 韩学增 王 勇

胡耀成 鲍子固 蔡 伟 曹嘉陵

黎仁芝

序 言

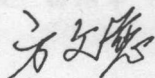
1992年铁二局第一次科技大会以来,全局上下认真贯彻落实局和局党委“关于大力推进技术进步,实现科技兴局的决定”,遵循“面向生产,应用为主,引研结合,适度超前”的科技发展方针,强化科技管理,加大开发力度,围绕施工生产,突出技术服务,不断增强全员科技进步意识。以市场为导向,以科技为动力,紧紧围绕生产经营,广泛引进、开发和推广运用“四新”技术,攻克了施工生产中一系列技术难题,促进了企业快速发展,全局科技水平、装备水平和整体实力跃上了一个新台阶。

《工程施工优秀科技论文集》一书,共收集优秀科技论文58篇。这些论文,结合施工生产的实际,真实、全面地反映了铁二局施工生产的技术成果,具有较高的学术水平,是全局工程技术人员心血和汗水的结晶;是铁二局五年来科技新成果的缩影;是广大领导干部和工程技术人员学习、借鉴、切磋、交流的宝贵资料。它的出版对于拓展广大技术人员的知识面,开展技术交流,推广和运用科技新成果,必将起到积极的促进作用。

党中央和国务院作出了加快科学技术进步的决定,制定了“科教兴国”的重大决策,开创了发展科学技术,加快社会主义现代化建设的新局面。新形势下,铁二局科技工作面临的任务艰巨而繁重。首先,日益增长的人民需要和市场竞争,要求建筑施工企业大量采用新技术、新工艺、新设备、新材料,大力推广先进施工组织 and 施工方法,缩短工期,降低造价,提高质量。其次,要实现两个根本性转变,特别是经济增长方式由粗放型向集约型转变,必须加快科技进步,提高科学技术对企业发展的贡献率,走依靠科技进步的内涵发展之路。第三,要在激烈的市场竞争中求生存,求发展,必须以先进的技术优势和实力为后盾,必须依靠科技进步,加速新技术的推广应用,加快新产品开发,提高产品的技术含量和服务质量,走科技效益型发展的新路子。我们必须紧跟时代步伐,面向未来,要从兴路强局的高度来认识科技进步的重要意义,把“科技兴局”的措施落到实处。只要全局广大职工以高度的历史责任感,积极投身于“科技兴局”的伟大事业,用科技大发展促进企业大发展,一定能为铁二局的振兴再创辉煌。

在此,谨向兢兢业业在工程建设中作出奉献的全局职工、广大工程技术人员和精心撰写论文的作者、辛勤审编论文集的编委们,向大力支持《论文集》出版的西南交通大学出版社表示由衷的敬意和感谢。

四川省铁道学会副理事长
铁道部第二工程局局长



一九九七年八月 成都

目 录

桥梁施工

丰都长江大桥施工技术的发展	郑宝迪 (1)
丰都长江大桥施工	施龙清 汪德礼 (5)
丰都长江大桥轻型猫道设计与施工	王 勇 胡一江 (14)
丰都长江大桥的索股架设	王 勇 郑宝迪 黄松和 (20)
丰都长江大桥隧道式锚碇施工	施龙清 (27)
大跨度部分预应力连续梁悬臂灌注施工	邹 杰 陈 华 (31)
石龙特大桥隔音屏障的设计与施工	邹 杰 (50)
达成线渠江大桥施工	尹国铭 程康平 (60)
雅园立交桥工程技术	沈华林 何本夫 刘学力 李 健 (67)
黄村立交桥跨铁路梁部施工	张北宾 (83)
泥浆护壁混凝土灌注桩的施工及检测	夏其良 (91)
丰都长江大桥施工控制测量及基准索股定位	王永国 (98)
双壁钢围堰上浮原因探讨	陈正贵 陈自力 (108)

隧道施工

应用新奥法的几个问题	王守仁 (113)
隧底岩溶流塑软粘土劈裂注浆加固技术及挖孔桩深基础设计与施工	李永丰 (121)
广州地铁农讲所车站逆筑法施工技术	蒋光全 陈 祥 (132)
广州地铁农讲所站投标优化方案设计介绍	李永丰 (142)
米花岭隧道进口端的机械选型配套	王守仁 秦宝和 (152)
松软土层逆作盖挖地模施工监测	李永丰 唐 伟 李朝晖 蒋昌华 (159)
缙云山隧道喷射混凝土(潮喷)施工工艺	张从怀 鲁立方 (172)
隧道光爆效果的影响因素分析	尹国铭 (179)
黄土隧道——宝中线虎山隧道施工方法介绍	张 斌 凌 彬 (186)
隧道爆破与直眼掏槽	谢泰极 (192)
用爆破法处理岩爆	杨 波 (204)
普通水泥掺粉煤灰和减水剂制作抗硫酸盐混凝土	丁 仪 徐绍章 (207)

路基工程

碎石级配稳定层的松铺系数 λ 之定量求解	尹国铭 (213)
土质不良地段采用氯丁橡胶板封闭基床的设计与施工	彭经枢 (218)
软土路基加固方法综述	庞士荣 (222)
深圳机场站坪、停机坪填方压实质量控制情况	曾凡炳 (227)

夯实水泥土挤密桩在既有线路基加固处理中的应用	杨德丰 (237)
广深准高速铁路既有线路基基床表面用水泥土挤密桩加固施工	廖建军 (239)
膨胀岩(土)路堑边坡采用锚杆框架梁加固防护的设计与施工概况	彭经枢 李文华 (244)
陇海线连徐段 DK30+260 至 DK30+351 段软土路堤滑坍破坏原因浅析	王宇辉 (251)
广深准高速铁路路基基床表层级配碎石土施工浅述	张代正 (256)
铁路枢纽中轴线测量精度探讨	杨维裕 (262)
条形药包在贵阳枢纽南编组站的应用	彭经枢 (269)

工 程 机 械

丰都长江大桥主缆紧缆机的研制	杨吉祥 (274)
丰都长江大桥主缆缠丝机的设计、试验与施工	杨绍良 (279)
新建铁路施工供配电设计	孙成寿 (287)
我局设备状态监测和故障诊断工作的状况、问题和对策	甘振明 陈洪 (297)
工程机械液压系统故障现场诊断	付利沙 (307)

房 屋 建 筑

香江花园地下室的防水处理	潘永光 (311)
高层建筑外墙渗漏治理	冯学零 (315)
无粘结预应力混凝土板施工技术	夏世林 (321)
华南冷库施工技术	罗云松 (327)
深圳南海面粉厂连体筒仓群液压滑模大面积滑升施工	崔冕昌 (332)
整体电动升降爬架在同乐大厦施工中的应用	苏雄念 (338)

电 务

1.55 μm 波段光缆工程光纤线路传输特性施工技术探讨	胡耀成 (342)
关于“柳号—6001”单溜电路存在问题的处理	鲁 健 张思宁 (349)
软横跨安装高度探讨	刑安海 (352)
降低单模光纤接头损耗的探讨	钟永成 (356)
短波信道汉字数据传输系统在施工通信中的应用	李兆发 (359)
SDH G. 652 光纤传输通道施工技术探讨	胡耀成 (363)

企 业 管 理

我局经济增长方式的转变刻不容缓	蒋棣贤 (374)
影响我局经济效益的桎梏	付志平 (380)
论施工企业项目管理	钱德礼 (386)
在贯彻《质量管理和质量保证》标准中推行施工作业标准化	曹 阳 (392)
项目法施工机械设备管理探讨	甘振明 (399)

丰都长江大桥施工技术的发展

郑宝迪

【摘要】 丰都长江大桥与国内其它已建成的悬索桥相比,具有自己的技术特色。本文介绍了在施工建设过程中,该桥 8 项科技开发与新技术的应用,以及所采用的施工技术取得的 6 个突破。

【关键词】 悬索桥 施工技术 开发应用

1 概 况

丰都长江大桥位于丰都县城上游约 4 km 处的观音滩,是三峡库区移民工程重点项目之一。该桥主跨为 1 m~450 m 的浅加劲钢桁梁悬索桥,丰都岸引桥为 5 m~20 m 简支 T 形梁,涪陵岸引桥为 1 m~20 m 简支 T 形梁,大桥全长 596.14 m。设计荷载为汽—20,挂—100,人群 3.5 kN/m²,桥面宽度为净 9+2×2.5 m 人行道,桥下通航净空 24 m。丰都岸索塔高 97.966 m,涪陵岸索塔高 82.922 m,塔柱为矩形薄壁空心结构,设有上下两道横梁;锚碇为隧道式锚,散索鞍位于洞内;主缆采用空间曲线,竖平面矢跨比 1/11,水平面矢跨比 1/138.5,每股主缆由 61×91Ø5.2 mm 高强镀锌钢丝组成,采用预制平行丝股,吊杆外张角为 4°09'27"。全桥主要工程数量:土石方 22 058 m³,混凝土 16 237 m³,钢料 3 851 t。

2 技术特色

我国是世界上最早建造悬索桥的国家,但现代悬索桥的发展却落后于世界先进水平。进入 90 年代后,随着经济的迅猛发展,科技水平的提高,国内掀起了现代大跨悬索桥的建设热潮,五座现代大跨悬索桥同时修建,这在世界上是罕见的。丰都长江大桥与这些桥相比,具有以下技术特色:

第一,主缆采用空间曲线。这无疑有利于提高桥梁的抗风稳定性,但对于主缆索股的架设,空间曲线的形成,钢桁梁的吊装等提出了新的课题。

第二,锚碇采用隧道式锚。隧道式锚碇节省圬工,对降低全桥的造价起着重要的作用。但隧道锚洞内坡度陡,洞内截面变化频繁,空间小,给隧道的开挖、衬砌、散索鞍的就位,主缆索股的架设以及工程质量的控制等都增加了难度。此外,对隧道锚室的除湿保干,提出了较高要求。

第三,加劲梁采用浅加劲钢桁梁。在我国汕头海湾大桥采用混凝土箱梁,虎门大桥、西陵长江大桥、江阴长江大桥全都采用钢箱梁,丰都县长江大桥成为我国第一座采用钢桁梁的现代大跨度悬索桥。这对于发展我国多种形式的加劲梁桥梁将起到积极推动的作用。

3 施工方案

根据施工现场实际,结合铁二局自身的特点,考虑到由于主缆呈空间曲线,设计、制造行走于主缆之上的缆载吊车难度极大,经过众多方案的经济技术比较,决定全桥采用的总体施工方案是:

第一,高近 100 m 的索塔采用爬架式翻模施工。

第二,总掘进长度超过 200 m 的四个隧道锚应用小炮微震动爆破开挖,衬砌混凝土采用钢木组合模板。

第三,设置猫道架设总重超过 1 400 t 的主缆索股。

第四,架设两股 $\varnothing 55$ 封闭式钢丝绳多功能高架索道,用于吊装空间立体钢桁梁节段。

4 科技开发与新技术的应用

针对丰都长江大桥高、难、新的特点,铁二局成立了技术攻关组,抽派技术骨干蹲在工地,帮助现场解决施工中遇到的难题,采用定期与不定期相结合的形式召开重大技术、关键技术研讨会,以指导全桥的施工技术工作的开展,协调科技开发与新技术应用的难题,全桥科技开发与新技术应用如下:

4.1 空心索塔爬架式翻模施工技术

采用钢管爬架,平板钢模,扒杆提升材料,泵送混凝土施工工艺,经过对爬架提升方式的优化,索塔施工的最佳进度达到每天 2.0 m。

4.2 隧道锚施工技术

本桥所采用的隧道锚,与单纯隧道、斜井、竖井都有很大的不同。首先洞内断面是变截面,且截面具有变化大、变化频繁的特点,其次洞内坡度陡,锚体段达到 42° ,大大超过隧道的斜井坡度;第三,洞内坡度变化大,洞口段 22° ,散索鞍至锚体前端 34° ,锚体达 42° 。根据这些特点,采用了相应的掘进、衬砌施工工艺,并制定了拉杆定位,锚体段灌注,散索鞍安装等特定的施工方案。

4.3 轻型猫道架设技术

猫道是现代大跨悬索桥主缆索股架设必不可少的大型临时工作通道。本桥在猫道的设置

上力求轻型、实用,在承重绳的锚固、调节装置设计等方面具有特色,猫道的架设采用高架索道辅助,仅 20 天就完成了架设任务。

4.4 新型索股架设系统研究、开发

通过对门架式、小车式、滑板式索股架设系统的研究,提出了新型索股架设系统——架空索道索股架设系统,该系统解决了空间主缆、隧道式锚碇给索股架设带来的施工难题,排除了索股架设系统布置与散索鞍处索股横移、整形,锚跨张力调整等作业的相互干扰。

4.5 大型专用机具的研制、开发

紧缆机、缠丝机是悬索桥施工的关键设备。

本着节约、实用、简便的原则,发扬自力更生的精神,组织铁二局的技术人员开展技术攻关,自主研制开发成功性能良好的六顶紧缆机($6 \times 1\,000\text{ kN}$ 千斤顶)和手动缠丝机(缠丝拉力 1 kN),解决了紧缆和缠丝的技术难题,为大桥建成创造了条件。

4.6 多功能高架索道的开发

丰都长江大桥所使用的 $\varnothing 55$ 封闭式钢丝绳高架索道具有多项功能,能全面解决悬索桥上部结构的多项吊装作业:卸吊索盘、安装主索鞍、吊装钢桁梁等,充分利用了现有设备,发挥了自身的技术优势。

4.7 钢桁梁空间节段吊装技术

钢桁梁空间节段在预拼场内拼成 12 m 长、 14 m 宽、 3 m 高的空间立体单元,最大重量 24 t ,采用两股 $\varnothing 55$ 封闭式钢丝绳高架索道联合起吊,节段的上弦采用节点拼接,下弦采用弦杆拼接,这种弦杆拼接方式在国内尚属首次。

4.8 主缆空间线形控制技术

主缆呈空间线形,两根主缆在索塔主索鞍处的横向间距为 20.5 m ,在跨中的横向间距为 14 m ,吊杆外张,施工中对空间线形的几个关键工况采用过程控制:索股架设阶段采用空缆线形矢度进行竖平面内的平面控制,吊梁阶段采用一期恒载矢度进行竖平面、水平面内的空间控制;二期恒载矢度按成桥线形进行竖平面、水平面内的空间控制。

5 施工技术的发展

丰都长江大桥的修建,是铁二局建桥史的一次飞跃。在大桥的建设过程中,所采用的施

工技术取得以下几个突破：

- 第一，跨度达 450 m，创造了铁二局新的桥梁跨度纪录。
- 第二，索塔高近 100 m，采用爬架式翻模施工技术，突破了高耸结构施工的难关。
- 第三，开创了全国现代大跨悬索桥第一个隧道式锚碇施工技术。
- 第四，首创新型索股架设系统，成功地架设了主缆。
- 第五，依靠自己的力量成功开发了紧缆机、缠丝机，具有明显的独有的技术特色。
- 第六，开发了多功能高架索道，成功地解决了外张式主缆悬索桥上部结构施工吊装作业难题。

通过丰都长江大桥的修建，掌握了现代大跨悬索桥施工技术，使铁二局的桥梁建造技术得到了进一步的发展，科技水平上了一个新的台阶。实践证明，依靠全局的整体优势，依靠科技进步，我们有能力建造新颖的更大跨度的桥梁，为祖国的万里江山锦上添花。

丰都长江大桥施工

施龙清 汪德礼

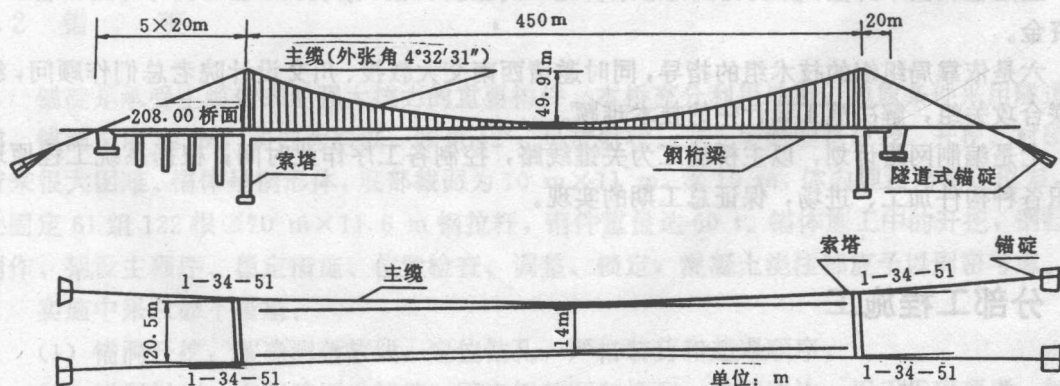
【摘 要】 丰都长江大桥是一孔主跨 450 m，主缆为外张式，浅加桁式结构梁、空间单元段用高强螺栓进行体外联结，隧道式锚碇的悬索桥。本文主要介绍施工方案的选定和分部工程施工。

【关键词】 悬索桥 方案选定 分部施工

1 概 况

丰都长江大桥位于丰都县城上游 4 km 处的观音滩河段，属三峡移民工程。它的建成对加快丰都县城的迁移和沟通长江两岸交通，发展丰都县的经济，促进三峡工程建设都将发挥重要作用。

该桥主跨为一孔 450 m，矢跨比为 1/11 的外张式浅加劲桁式悬索桥，如下图。引桥北岸为 5×20 m 简支梁，南岸为 1×20 m 简支梁，全桥长度 596.14 m。主桥索塔高度：北岸 97.966 m，南岸 82.922 m。锚碇为陡斜、楔形的隧道式锚碇。



全桥总布置图

设计荷载：汽—20、挂—100、人群 3.5 kN/m²。桥面净宽 9+2×2.5 m。桥下为长江黄金水道，三峡库区蓄水回水位 173.80 m，桥下通航净高 24 m。全桥工程数量：土石方 22 058 m³、混凝土 16 237 m³、钢材 3 851 t。

桥址区地形起伏较大，相对高差 70 多米，属低山河谷侵蚀地貌。表层多为第四系覆盖，

其下伏基岩为侏罗系中统上沙溪庙组之长石石英砂岩及砂质泥岩,岩层倾向 93° , 倾角 10° , 地层产状平缓。

桥区气候属亚热带湿润季风气候区, 极端最高气温 40.3°C , 极端最低气温 0.8°C , 最大风速 20 m/s , 百年一遇设计风速 30.1 m/s 。

2 施工方案和选定

该桥的建设单位是丰都县大桥建设指挥部, 建桥资金由丰都县人民政府筹集。现代化悬索桥在我国 90 年代才起步 (正在修建和竣工通车的有: 汕头海湾大桥、虎门大桥、江阴长江大桥、西陵长江大桥、丰都长江大桥)。四川省公路规划勘察设计院在该桥主缆设计上采用空间曲线线形、浅加劲桁式结构梁、隧道式锚碇。施工方案的选定必然要遵从以下原则: 借鉴现代化悬索桥前人建桥经验, 研究本桥的设计特点, 结合自身的建桥经验和设备, 合理组织施工, 达到好而省的目的。因此, 施工方案制订选择了如下的路子:

一是采取用铁二局第五工程处开发的“采用钢管爬架倒模新工艺施工桥梁空心高墩工法”, 扒杆提升材料, 泵送, 人力灌注混凝土, 土洋结合修建近百米高的索塔。

二是架设多用途的高架索道, 解决猫道、主缆架设, 主缆、吊索、加劲梁、主索鞍、钢材的卸船、卸车, 吊装主索鞍、索夹、吊索、钢桁梁空间单元段、车道板、人行道板、机料和人员的接送, 以适应主缆空间线形的设计, 解决大吨位吊装设备和减少运输中转环节。

三是优选混凝土配合比、掺外加剂、外加料和采取其它施工手段的综合技术, 控制主塔基础、上下横系梁、锚体大体积混凝土浇注, 防止开裂。

四是主桁加劲梁委外加工, 横梁、风构、空中单元段组拼工地进行, 以解决长大件 ($12\text{ m}\times 14\text{ m}$) 运输问题、锻炼施工队伍和保证钢结构质量。

五是组织技术力量, 开发现代化悬索桥施工的主要机械: 紧缆机、缠丝机等专用设备, 节约资金。

六是依靠局组织的技术组的指导, 同时邀请西南交大教授、川交设计院老总们作顾问, 组成联合攻关组, 解决施工设计中的技术难题。

七是编制网络计划, 以主桥施工为关键线路, 控制各工序作业时间; 根据系统工程原理组织各种构件加工、进场, 保证总工期的实现。

3 分部工程施工

3.1 索 塔

索塔是承受主缆传来巨大压力的主要构件之一, 为钢筋混凝土门式框架结构, 其截面为薄壁箱形, 壁厚 $1.00\text{ m}\sim 0.60\text{ m}$ 。塔柱底截面尺寸为 $6.5\text{ m}\times 3.5\text{ m}$, 塔柱顶截面尺寸为 $4.128\text{ m}\times 3.5\text{ m}$, 塔顶平面尺寸为 $4.5\text{ m}\times 5.0\text{ m}$ 。塔身在高度方向, 每隔 10 m 左右设一道厚度为 0.20 m 的横隔板, 增强塔身的刚度。两塔柱中心距 20.5 m , 中间设两道横系梁, 增加横向联结和整体性, 下横系梁承托桥面系。

3.1.1 索塔基础

索塔基础为分离式,北岸尺寸为 $10\text{ m}\times 7.5\text{ m}$ 、南岸为 $9.68\text{ m}\times 7.5\text{ m}$,置于除去风化层的新鲜基岩,嵌入深度 4 m 以上。为了保持岩体的完整性,开挖采用小炮控制爆破,飘石层边坡锚喷支护。混凝土浇注集中拌和,梭槽配串筒输送混凝土,混凝土中掺入粉煤灰,缓凝减水剂、安装循环水管、延长养护时间,保证了混凝土的浇注质量。

3.1.2 索塔塔身

塔身采用爬架倒模法施工,用链条葫芦作动力,平均进度 $1.5\text{ m}/\text{d}$ 。上、下横系梁用万能杆件搭设膺架立模灌注。钢筋、零星材料、机具在膺架上设扒杆提升,混凝土提升灌注南北岸分别采用扒杆,输送泵进行,人员上下设钢筋梯。

3.1.3 索塔横系梁

横系梁为跨度 17 m ,一箱多室,上横系梁横截面尺寸 $3\text{ m}\times 4\text{ m}$,下横系 $4\text{ m}\times 4.6\text{ m}$ 的钢筋混凝土结构,结构内设有角钢组成的劲性骨架。下横系梁用以承托桥面系,上横系梁承托多用途高架索道 π 形架。

横系梁混凝土在万能杆件膺架上浇注,除优选配合比外,掺缓凝早强剂,采用泵送混凝土缩短浇注时间,加强养护等措施,解决膺架预压,分层浇注面的衔接和混凝土收缩开裂。施工完毕,无一开裂和冷接缝问题。

3.1.4 塔 顶

塔顶预埋件、预留孔多达16种,钢件密布、眼孔纵横交错。精心调整,认真安装,仔细插捣浇注混凝土,保证了预埋件、预留孔位置准确和混凝土浇注质量。

3.2 锚 碇

锚碇是承受主缆传来的强大拉力的重要构件。本桥充分利用地形、地质条件采用隧道式锚。锚洞长度 52 m ,洞内为斜坡、倾角 42° ,呈放射状。这无疑给测量放线、开挖、衬砌都带来很大困难。锚体呈楔形体,底部截面为 $10\text{ m}\times 11\text{ m}$,深 10 m ,体内埋设角钢定位架,架上固定61组122根 $\varnothing 70\text{ mm}\times 11.6\text{ m}$ 钢拉杆,钢件重量达 60 t 。锚体施工中的开挖,钢拉杆制作、架设主程序、稳定措施、位置检查、调整、锁定,混凝土浇注都应予以周密考虑。

实施中采取如下措施:

- (1) 锚洞开挖:精确测量放线,定位钻孔,严格装药和起爆顺序。
- (2) 锚洞衬砌:在洞壁埋设锚筋。固定钢筋网和模型。拱圈浇注,用千斤顶顶压,解决分段浇注杀尖,保证接头混凝土的密实度。
- (3) 钢拉杆制作:分成两段车丝、焊锚头、焊接接长、接头各拉杆相互错开,作接头拉力试验。
- (4) 角钢定位架:在洞底埋设钢性支撑,两侧和拱顶设锚筋,末端和定位架间设数排顶撑,割开前排定位角钢上的定位孔,以便钢拉杆固定在牢固的支架上和钢拉杆随支架变形调

整。

(5) 钢拉杆定位: 根据设计值进行复核控制, 而定位架又不可避免出现局部变形。因此, 钢拉杆需按坐标位置逐一检测, 施焊固定。每根索股的两根钢拉杆用两块钢质定位板, 利用拉杆螺帽固定, 待锚体混凝土浇注后拆除。

(6) 锚体混凝土浇注: 锚体混凝土内埋设的定位角钢、钢支撑、钢拉杆, 纵横交错, 混凝土采用输送泵和梭槽结合浇注。为了控制大体积混凝土开裂, 采用优选配合比, 掺粉煤灰、缓凝早强减水剂, 控制水泥用量, 延长拆模时间、控制混凝土内部和表面温差, 强养护防止混凝土硬化过程收缩的综合措施, 达到了四个锚体无一开裂的目的。

3.3 架设多用途的高架索道

常用的加劲梁吊装采用缆载吊机, 本桥主缆设计为外张式空间曲线, 缆载吊机轮距必须随主缆线形变化而伸缩, 用什么方式来解决? 想到的是: 我们有成功地大吨位缆索吊装设备和经验, 完全能适用于本桥线形变化和免除船舶运梁架设占用险滩航道、节约投资。既然架有高架索道, 何不充分利用。为此, 在索道 π 架上挂主缆牵引承重绳, 取消猫道门架; 利用索道门架拼装成悬臂 π 架, 提升、安装主索鞍; 在南北两岸设置简易卸船码头, 利用索道解决大件和主材的卸船问题; 利用索道解决全桥的吊装、人员、材料的水平、垂直运输, 充分发挥该索道的综合功能。

3.4 猫道

猫道是为主缆施工提供工作场所而设置的吊桥, 两条主缆下方 1.5 m 各设一条, 两猫道间以横向通道相连, 借以沟通两猫道和解决猫道抗风问题。吊装加劲梁前需将猫道转挂到主缆上, 以便随主缆恒载增加线形变化而变化, 保持足够的工作空间。

本桥猫道按三跨(主跨、两边跨)不连续布置。

猫道结构由五部分组成: 承重绳、面层、横通道、塔顶调节装置、锚碇。

(1) 承重索: 施工设计采用 $6\phi 34$ mm 钢丝绳, 实际施工根据料源采用 $6\phi 47.5$ mm 钢丝绳。承重绳利用导索牵引法架设。

(2) 面层: 由角钢、槽钢组成的横梁、双层钢丝网、木踏步、栏杆组成。钢丝网、木踏步在地面组装成卷待用。当承重绳架完经垂度调整后, 将成卷钢丝网吊挂在 π 形架上拽拉就位(拽拉前端设置导向架和滚轮)。当放出 5 m~6 m, 在索塔顶部工作平台上安装横梁, 横梁两端与承重索用 U 形扣件相连, 不拧紧螺帽, 以利拽拉。待两端拽拉至跨中合龙后, 从两岸至跨中拧紧, 补齐 U 形扣件。尔后挂扶手绳、安装栏杆立柱钢丝网护栏。

(3) 横通道: 用钢管、角钢在地面组焊成三角形空间桁架结构, 在顶面铺防护钢丝网, 设踏板、栏杆。待猫道面层安装完毕、垂度再次调整后, 整体吊运就位安装。

(4) 塔顶调节装置: 采用丝杆调节器, 一端与塔顶预埋件销接, 一端与承重绳用绳卡相连。调节尺度以放松为好, 以免收紧费力。

(5) 锚碇: 边跨除索塔端与预埋件相连外, 另一端拉进锚洞与预埋在锚体内的钢丝绳相连。

猫道架设, 在于垂度控制。猫道垂度与主缆中跨、边跨架设垂度和选用猫道承重新旧钢丝绳弹性、非弹变形伸长值相关。架设前认真研究、拟定参数, 避免增大调整工作量。

3.5 索鞍安装

索鞍是重要的承力构件。在索塔顶设置主索鞍, 在锚洞内设置散索鞍。由于索鞍作用不同、结构不一, 所处位置各异, 又是铸钢件, 体重大, 在安装中的尺寸应严格控制。

3.5.1 主索鞍安装

主索鞍分座板、座体两部分。座体由于受加工、起吊、安装限制, 从中间分成前后两段铸造, 栓结加工。其安装工艺如下:

- (1) 主索鞍在塔顶斜置 $1^{\circ}34'51''$, 按此画线检查平面位置、高程、锚栓孔尺寸。
- (2) 检验主索鞍各部件铸造、加工质量, 保证座板顶、座体底光洁度, 运输、存放支垫不划损, 鞍槽做临时涂装、遮盖防护, 防止锈蚀。
- (3) 安装座板, 仔细检测后锚固。
- (4) 在座板顶铺设二硫化钼减摩剂。
- (5) 吊装座体。两段组拼栓结后, 人力来回推动, 使滑动面润滑均匀; 用油压千斤顶推算摩擦系数, 验证设计值, 将主鞍座体按预偏量定位, 加以临时锁定。
- (6) 其余配件按架缆程序逐次安装就位。
- (7) 由于二期恒载逐次加设, 索鞍顶推装置在主缆成型后安装, 并解除主鞍座体临时锁定, 依加载受力状态自由向前移。若不能按分期加载前移到位, 采用千斤顶实施顶推, 克服摩擦阻力强迫其到位。

3.5.2 散索鞍

散索鞍的作用是将主缆各索股散开, 便于与锚体预埋拉杆相接。散索鞍分座板、座体、盆式橡胶支座三部分, 安装在锚洞内斜坡上。根据南北岸锚洞施工状态, 采取不同的安装工艺。

- (1) 检验散索鞍各部件铸造、加工质量, 鞍槽做临时涂装、遮盖防护, 防止锈蚀。
- (2) 垫面进行平面、高程测量、定位画线、检查锚栓孔、拟定锚栓安装, 底板铺设方法。
- (3) 组装散索鞍, 焊接盆式橡胶支座底板防滑角钢。
- (4) 北岸锚洞施工成型, 铺设滑道、整体拖拉就位; 南岸锚洞散索鞍部位为明槽, 拱圈未浇注, 用汽车吊分件吊装。

3.6 主缆制造与架设

主缆是悬索桥的主要承力构件。本桥两条主缆呈空间线形, 外张角 $4^{\circ}09'37''$, 采用 $\varnothing 5.2$ mm 高强镀锌碳素钢丝预制平行编制 (P.P.W.S) 法, 工厂化生产。每条主缆由 61 束, 每束 91 丝组成六角形截面。为保证钢丝均匀受力及防护, 主缆索股架设完毕后, 用紧缆机将其挤压成圆形截面 (直径为 43.4 cm, 索夹处为 42.8 cm)。挤紧后用 0.8 mm $\times$ 30 mm 钢带捆扎。待全桥恒载加完后表面用锌粉膏嵌缝, 用缠丝机缠绕 $\varnothing 4$ mm 退火镀锌钢丝并经红丹浸渍, 再

涂一层 68% 的红丹+32% 的丙苯腻子, 最后再涂五层彩色防锈漆。

3.6.1 主缆制造

主缆 $\varnothing 5.2$ mm 钢丝按设计的力学参数、镀锌层含量、主缆长度倍数 (约加富余量) 定货, 采用工厂化生产。制缆厂控制预拉力、温度、精度下料, 制作标准丝; 以标准丝为基准, 放线、编束、缠胶带、铸锚头, 作顶锚试验, 按架缆放线方向打盘包装运到工地。

整个制缆过程制订严密的工艺流程和检验程序、钢丝、索股出厂具备检验合格证书。

3.6.2 主缆架设

主缆标准索股架设, 是控制主缆线形的关键, 也直接关系到成桥线形, 因此, 标准股线形必须严密控制。

主缆线形控制, 应考虑因为主缆在制作时按设计长度扣除恒载弹性伸长值, 以及主缆架设及加劲梁安装, 二期恒载等因素引起主索鞍座体后移, 跨度、垂度值等发生的变化, 应根据不同的工况与设计值进行验证。

3.6.2.1 主缆架设牵引系统

主缆牵引系统是为主缆牵引、横移、整形、入鞍、线形调整、锚固作业过程和在工作过程中保护索股镀锌层不被损坏、绑扎胶带破断得以及时恢复, 防止散丝、吊丝的设施。

本系统利用索道 π 架分跨挂设承重绳, 五组接力挂转向滑车, 至锚体与拉杆相连。在南岸锚洞顶顺主缆牵引方向设放线架, 在洞口前端设提升架。在主索鞍、散索鞍位置设置张紧、横移装置。沿猫道一侧每隔 6 m 设滚轮、塔顶设导轮、锚体拉杆设张拉装置。

本系统特点主要是:

(1) 主索鞍在塔顶斜置 $1^{\circ}34'51''$, 导轮位置要适当。否则会增大侧压力, 大量挤破索股绑扎胶带和有损索股镀锌层。

(2) 索股牵引进锚洞, 增加牵引、提升、张拉设施。

(3) 利用高架索道 π 架挂拽拉承重绳, 取消猫道门架。

3.6.2.2 主缆牵引

索盘置于放线架上, 锚头从下部引出, 承重绳上小车直挂锚头, 牵引绳拽住锚头拖至索塔顶换挂, 至北岸索塔顶再换挂。至锚洞口和锚洞内散索鞍处分别换挂后直至锚体与拉杆套接。南岸用提升架提起主缆, 退出末端锚头, 至锚洞口换挂滑移至锚体与拉杆套接。在主缆牵引中:

(1) 放盘因故停止, 注意刹车, 防止索股不断涌出, 产生胡拉圈。

(2) 架设人员随索股跟进, 保证索股置于滚轮上; 绑扎带连续破断两个, 及时停下修复, 有损镀锌层现象, 立即采取防范措施。

(3) 索股在牵引、矢度调整中, 出现散丝、吊丝及时理顺或解开绑扎带, 用木槌敲击理顺。

3.6.2.3 主缆线形调整

主缆架设时, 第一根为标准股。对标准股线形调整方法, 中跨、边跨实测垂度值, 锚跨以张拉力控制。除标准股以外的其它索股, 中跨、边跨测量与标准股的相对高度, 锚跨控制张力。

标准股调整程序: